

# **Építési faanyagok technikai szilárdságainak kísérleti meghatározása**



## **OTKA zárójelentés**

**Szerződésszám: T 034107**

**A kutatás ideje: 2001. január 1. – 2004. december 31.**

**(meghosszabbítva: 2005. december 31.)**

**Készült:**

**Nyugat-magyarországi Egyetem**

**Faipari Mérnöki Kar**

**Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézet**

**Témavezető: Dr. Szalai József intézetigazgató egyetemi tanár**

**Sopron, 2006. január**

## A kutatás a

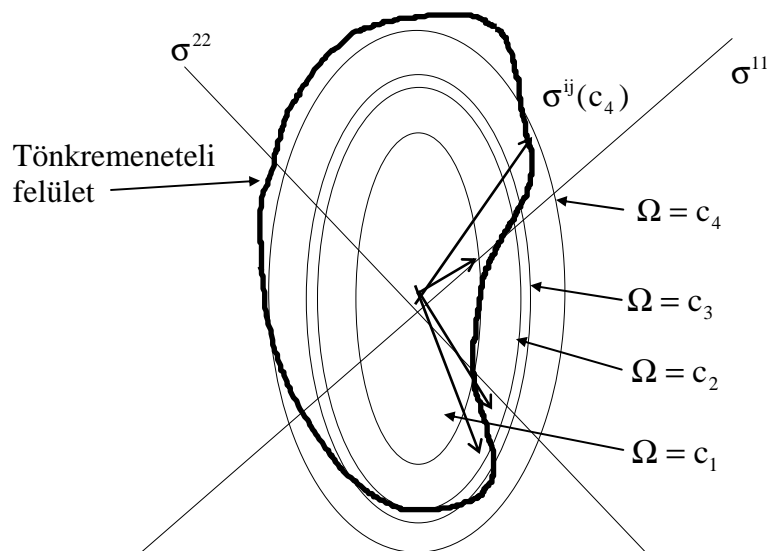
**Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézet** (Nyugat-Magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, 9400 Sopron, Bajcsy-Zs. E. u. 4.) laboratóriumaiban zajlott.

**A kutatási program célja:** újabb építési fafajok szilárdsági anyagjellemzőinek meghatározása a tönkremeneteli elméletek alkalmazhatósága érdekében; a tönkremeneteli elméletek ellenőrzése összetett feszültségi állapot létrehozására alkalmas kísérleti berendezéssel; a faanyag rideg-szívós törési jellemzőinek tanulmányozása; a reflexiós optikai feszültségvizsgálati módszer alkalmazása faanyagon, ill. faszerkezeti csomópontok erőjátékának meghatározására.

## Elméleti eredmények

A természetes faanyag szilárdságával kapcsolatban további elméleti vizsgálatokat végeztünk (volt már egy OTKA által támogatott kutatásunk 1992-1995 között, melynek kutatási témája szintén a faanyag szilárdsági viselkedése volt). Ennek legfontosabb eredménye, hogy energetikai alapon bizonyítottuk, hogy a szóba jöhető anizotrop szilárdsági elméletek közül melyik alkalmas a faanyag szilárdsági viselkedésének leírására. A lényeg röviden a következő: Az anizotrop tönkremeneteli elméleteknek megfelelő összefüggések átalakíthatók úgy, hogy egyik oldalukon a tönkremenetelig felhalmozott fajlagos kiegészítő energia szerepeljen. Az elméletek szerint a von Mises- és az Tsai és Wu-elméletek szerint ez az energia az orientációtól függetlenül állandó, csupán az Askenazi-elmélet mondja ki, hogy ez a munka nemcsak a feszültségi állapottól, hanem az orientációtól is függ.

Anizotrop anyag esetén a tönkremenetelhez a különböző feszültségi állapotoknál különböző nagyságú  $\Omega = c_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) energia felületek tartoznak. Izotrop anyagnál az orientációnak nincs jelentősége. Itt a tönkremeneteli felület konvex, hiszen a tönkremenetelhez tartozó feszültségi állapotok képpontja az anyagra jellemző kiegészítő potenciális energiaértéknek megfelelő (hiper)ellipszoidon helyezkedik el. Anizotrop anyagnál minden orientációhoz más kiegészítő potenciál tartozhat. A tönkremenetelhez tartozó feszültségi képpontok összessége alkotja a rideg anyagok törési határfelületét (1. ábra).



**1. ábra.** A ridegen törő anizotrop anyagok tönkremeneteli felülete (síkbeli feszültségi állapotot feltételezve) domború és homorú részeket is tartalmazhat.

Anizotrop anyagnál a tönkremeneteli felület így nem feltétlenül konvex. Az 1. ábrán látható módon a tönkremeneteli feszültségi képpontok különböző ellipszoidokon fekszenek, de a tönkremenetelhez tartozó képpontok által alkotott felület konvex és konkáv részeket egyaránt tartalmazhat. A tönkremenetel pillanatában ugyanis a Drucker-féle stabilitási feltétel nem érvényes, hiszen megszűnik az anyag folytonossága és a  $d\epsilon_{ij}d\sigma^{ij}$  szorzat fizikailag értelmét veszti. Ezzel elméletileg is belátható az a kísérleti tapasztalat, hogy a rugalmas-rideg anyagok tönkremeneteli

felületének konkáv részei is lehetnek (az elmélet részletesebb kifejtése Szalai, J. (2001): *Mérnöki faszerkezetek. II. kötet. Mezőgazdasági Szaktudás kiadó. Budapest. 2001. Szerkesztő: Dr. Wittmann Gyula. 262 old. 18. fejezet: Faszerkezetek méretezését és gyártását befolyásoló sajátosságok. 143 - 259. szakkönyvben megtalálható).*

### Kísérleti eredmények

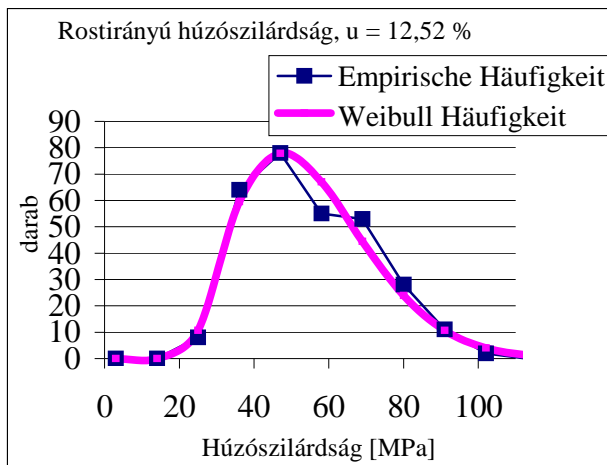
#### 1/ *Technikai szilárdságok kísérleti meghatározása*

Meghatároztuk – tervezetnek megfelelően – négy újabb fafaj technikai szilárdságainak azon minimum rendszerét, amely lehetővé teszi a különböző anizotrop tönkremeneteli elméletek felhasználását. A fafajok: Pannónia nyár (*Populus x euramericana* cv. *Pannonia*), csertölgy (*Quercus cerris* L.), akác (*Robinia pseudoacacia* L.) és jegenyefenyő (*Abies alba* Mill.). Egy fafaj esetében 12, ill. 15 különböző szilárdságot kell meghatározni. Ezek: az anatómiai főirányokba, valamint az anatómiai főirányok szögfelezőjébe eső húzó- és nyomószilárdságok és az ezek alapján számítható, anatómiai fősíkokhoz tartozó nyírószilárdságok. A technikai szilárdságok ismerete lehetővé teszi a különböző tönkremeneteli elméleteknek megfelelő szilárdsági tenzorok komponenseinek számítását. Az egyes szilárdságokat 300 elemes mintasorozatokon (egy fafajhoz tehát 3600 próbatestet törtünk össze) vizsgáltuk. Ez a viszonylag nagy szám már lehetővé tette az adatok alapos statisztikai kiértékelését. Meghatároztuk az eloszlásjellemzőket, illeszkedésvizsgálattal kiválasztottuk a normál-, lognormál-, Pearson III.- és Weibull-eloszlások közül a legjobban illeszkedőt. Az eloszlások feltételezett ismeretében számíthatók a különböző kvantilisok (a várható értéken kívül a minősítési érték és a határérték), azaz meghatározhatók a megengedett feszültségen vagy a félvalószínűséggel kiegészített határállapoton alapuló erőtan mértezéshez szükséges szilárdsági tenzorok. A korábbi támogatású kutatásban öt fafaj technikai szilárdságait határoztuk meg, így összesen kilenc építési faanyag szilárdsági jellemzőit ismerjük. Meg kell jegyezni, hogy rajtunk kívül sehol a világon nem foglalkoznak a faanyag szilárdságának ilyen mélyreható elméleti és kísérleti kutatásával. Az egyes fafajok sajátosságait külföldi és magyar szaklapokban tettük közzé (lásd publikációs jegyzék).

#### 2/ *A természetes faanyag tönkremeneteli jellegének változása a nedvességtartalom függvényében*

Tapasztalatból tudjuk, hogy a faanyag tönkremenetele – főleg alacsony nedvességtartalmon – rideg jellegű. A nedvességtartalom növekedésével a szilárdság értéke csökken, a tönkremenetel jellege pedig egyre szívósabbá válik. A rideg-szívós törési viselkedésnek nemcsak a teherviselésben, hanem a különböző gyártási technológiákban (forgácsolás, hajlított bútorgyártás stb.) is fontos szerepe van. A rideg vagy szívós tönkremeneteli forma alapján lehet eldönteni, hogy milyen anizotrop szilárdsági elmélet alkalmazható összetett feszültségi állapot esetén. Vizsgálataink célja elsősorban az volt, hogy kísérletileg megállapítsuk, milyen nedvességtartalomnál lépnek fel a képlékeny viselkedés első jelei.

0% - 30% között nyolc nedvességtartalmi fokozaton, 20 C°-on, 300 elemes sorozatokkal vizsgáltuk a lucfenyő (*Picea excelsa*) rostirányú húzószilárdságát. Meghatároztuk a minták statisztikai jellemzőit és a tapasztalati eloszlásokra illesztettük a normális, lognormális, Pearson III. és Weibull eloszlásokat (lásd pl. 2. ábra), meghatározva azok paramétereit. Végül  $\chi^2$ -próbával illeszkedés-



2. ábra. Példa a gyakoriság-vizsgálatra

vizsgálatot végeztünk és megállapítottuk, hogy melyik eloszlásfajta illeszkedik legjobban a tapasztalati eloszlásra. Elméletileg ugyanis bizonyítható, hogy a szívósan (képlékenyen) törő anyagok szilárdsága Pearson III., a ridegen törő anyagok szilárdsága Weibull eloszlást követ. Ez a viselkedés lehetővé teszi, hogy statisztikai alapon határozzuk meg a képlékeny törési jelleg domináns megjelenését.

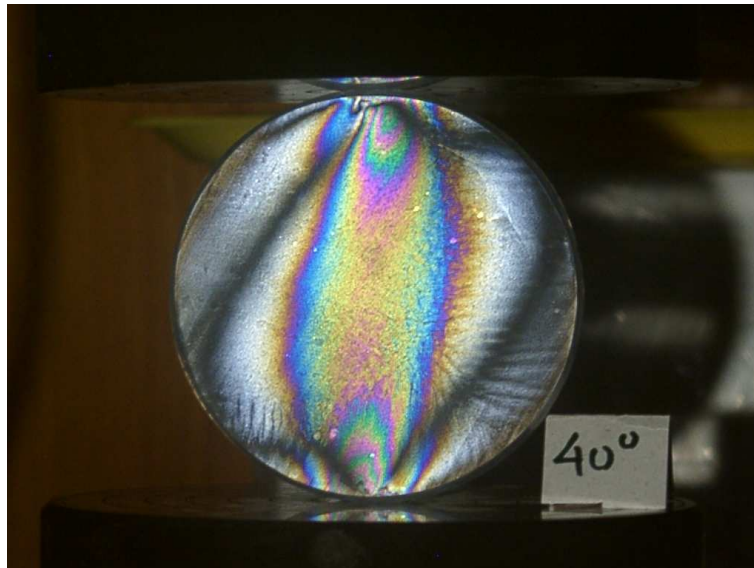
Az illeszkedésvizsgálatok alapján megállapítható, hogy a nyolc sorozatból hat Weibull eloszlást, kettő pedig lognormális eloszlást követ. A Pearson III. eloszlás mindig a harmadik helyre szorult. Ez azt jelenti, hogy a faanyag tönkremenetele a nedvességtartalomtól függetlenül mindig rideg jellegű. A nedvességtartalom ugyan befolyásolja a húzószilárdság értékét a törési jellegre azonban nem. A rideg törés jellemző a rost-telítettségi határ felett is (hiszen a szabad víz nem befolyásolhatja a törési jelleget), sőt az élő fára (fatörzsre) is. A törési jelleg megváltoztatásához, a plasztikus deformációk megjelenéséhez csupán a víz nem elegendő. A víz mellett hőre vagy vegyszeres kezelésre is szükség van. Hasonló eredményekre jutott M. Bariska – L.J. Kucsera (1985) mikroszkóp alatt végzett törési vizsgálatok alapján. Megfigyeléseik szerint a törés megindulása és a teljes törési folyamat rideg. Erre a következtetésre jutott A. Kánnár (2003) is akusztikus emissziós vizsgálatok és a törési felületek elektronmikroszkópos elemzése alapján.

### **3/ A rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálat alkalmazása faanyagon**

A reflexiós optikai feszültségvizsgálat a fém- és műanyagszerkezetek mechanikai viselkedésének tanulmányozásánál gyakran alkalmazott módszer. Egyik lényeges előnye, hogy a feszültség-meghatározás közvetlenül a már elkészült, eredeti szerkezeten történik, nem annak modelljén. A vizsgálati módszer faszerkezeti alkalmazása elméleti és gyakorlati problémák egész sorának megoldását teszi szükségessé. Elméleti szempontból legjelentősebb annak figyelembe vétele, hogy a faanyag (és a legtöbb faalapú anyag) anizotrop és inhomogén. A gyakorlati problémák közül a faanyag, ill. a faszerkezeti elemek viszonylag kicsi merevsége, és az ezzel kapcsolatos feladatok megoldása a legfontosabb. Néhány elvégzett vizsgálatot röviden bemutatunk:

#### **a/ Ortotrop rugalmas körtárcsa vizsgálata**

A vizsgálatok célja: tapasztalatszerzés a mérési technikában, a kísérleti eredmények összehasonlítása az elméleti megoldással.



**3. ábra.** Diagonálisan terhelte anizotrop (a rostirány az erő hatásvonalával 30°-os szöget zár be) körtárcsa irányítási-ábrája 40°-os polarizátor-állásnál.

#### **b/ Egyéb speciális faelemek vizsgálata**

##### **b.1/ Saját- és köldökcsapos T kötés teherbírás vizsgálata**

A vizsgálatok célja: a T alakú csomópont erőtan vizsgálata, a felületi feszültségeloszlás meghatározása, a sajátcsapos és a köldökcsapos kapcsolat összehasonlítása erőtan szempontból.



4. ábra. T-kötés színsáv-ábrája

#### **b.2/ Saját- és köldöcsapos T kötés teherbírási vizsgálata módosított rétegbevonattal**

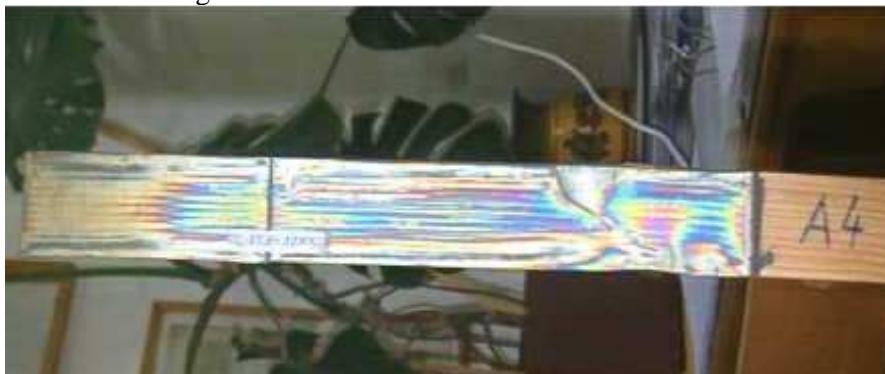
A vizsgálatok célja: az előző vizsgálatban a csomóponti rétegbevonatot egy összefüggő darabból készítettük el. A vizsgálatok közben felmerült a gyanú, hogy ez megváltoztatja a szerkezet erőjátékát, ezért a rétegbevonatot – hasonlóan ahhoz, ahogyan a T két szára két külön faelemből áll – is két különálló részből ragasztottuk fel. A vizsgálat egyéb körülményei hasonlóak voltak az előzőhöz. Ezen kívül csökkentettük a rétegbevonat rugalmassági modulusát és vastagságát.

#### **c/ A faanyag feszültségi és alakváltozási főirányainak kapcsolata a terhelés orientációja és az anyagtulajdonságok függvényében**

A vizsgálatok célja: a faanyag sajátos – belső ortogonális szerkezeti felépítéséből adódó – viselkedésének tanulmányozása. Kiértékelés: „csupán” az irányításokat kellett kiértékelni a trajektóriarendszer meghatározásának céljából. A kísérleti eredmények jó egyezést mutattak az elméleti megállapításokkal.

#### **d/ A faanyag zsugorodási alakváltozásának követése rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálattal.**

A vizsgálatok célja: a réteges felépítésű faszerkezeti elemek klímaváltozás hatására sajátos feszültségi és alakváltozási állapotba kerülnek. Ezek kísérleti meghatározási lehetősége nem egyszerű, bár gyakorlati szempontból igen nagy jelentőségű, mert a feladat elméleti megoldása sok problémát vet fel. A véletlen tapasztalt jelenség (lásd a 5. ábrát, ahol egy másfél éve félretett, rétegbevonatos lucfenyő – réteges évgűrűszerkezetű) rudat látunk a belső feszültségre utaló színsáv jelekkel) új vizsgálati formára ad lehetőséget.



5. ábra: A természetes rétegződésű faanyag zsugorodás során keletkező feszültségeinek optikai képe (színsáv-ábra).

A fenti példák alapján látható, hogy a rétegbevonatos optikai feszültség-meghatározás a faiparban előforduló feladatok megoldásában is jó használható kísérleti módszer. Az MMTI jövőben felmerülő kutatási feladataiban – legyen az alap-, alkalmazott vagy ipari kutatás –, TDK, diplomaterv vagy doktori munkákban nagyon hasznosan alkalmazható.

#### 4/ Példa az extenzométeres alakváltozás-mérés alkalmazására

Az extenzométer-berendezés érintkezésmentes hosszváltozás-mérést tesz lehetővé. Egy húzott vagy nyomott próbatesten mérhető vele a hossz- és keresztirányú hosszváltozás nagysága. A berendezéshez tartozó szoftver megkönnyíti a mérés kiértékelését (jelleggörbe-rajzolás, kitüntetett pontok leolvasása stb.). A mechanikai mérések során szinte mindig szükség van hosszváltozás-mérésre. Egy példán mutatjuk be a műszer alkalmazásának lehetőségét.

Az anizotrop rugalmasságtan alapelveinek felhasználásával levezethető a következő összefüggés:

$$G_{ij} = \frac{\sigma^{11'}}{2(\varepsilon_{11'} - \varepsilon_{22'})} ,$$

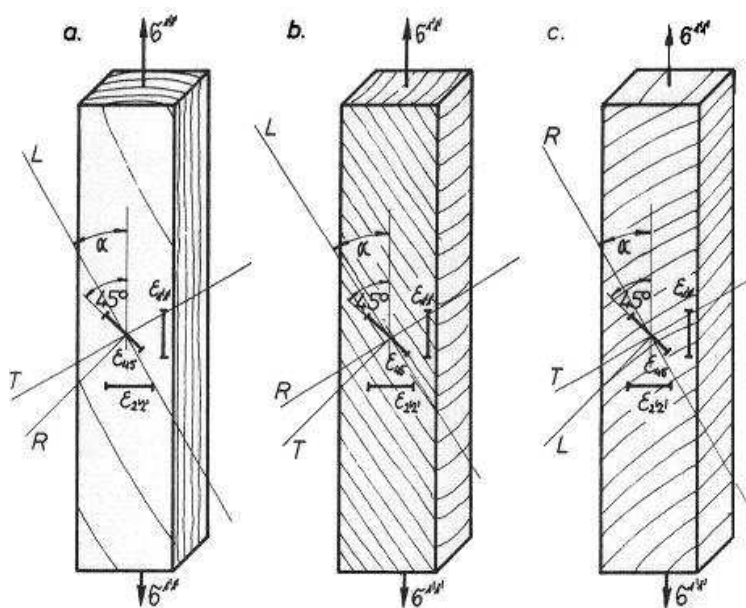
ahol

$G_{ij}$  – az  $i, j$  anatómiai fősíkhöz tartozó nyíró-rugalmassági modulusz,

$\sigma^{11'}$  - a rúd alakú próbatest hosszirányában ébredő normálfeszültség, ha a faanyag rostiránya a rúd hossz tengelyével  $45^\circ$  szöget zár be,

$\varepsilon_{11'}$  - a próbatest hosszváltozása a hossz tengellyel párhuzamosan,

$\varepsilon_{22'}$  - a próbatest hosszváltozása a hossz tengelyre merőlegesen.



**6. ábra.** A próbatestek orientálása és az alakváltozás-mérők elhelyezésének módja a nyíró-rugalmassági modulusz meghatározásánál.

Amennyiben a próbatesteket a 6. ábrának megfelelően az anatómiai fősíkból vágjuk ki, úgy, hogy a rostirány  $45^\circ$ -os szöget zárjon be a hossz tengellyel, a három mérési adatból az anatómiai fősíkhöz tartozó nyíró-rugalmassági moduluszt meghatározhatjuk. A nyíró-rugalmassági modulusz kísérleti meghatározását tehát nem szögváltozás-méréssel, hanem hosszváltozás-méréssel határozhatjuk meg, ami jelentősen megnöveli a mérés pontosságát és kivitelezhetőségét.

A munkából hallgatói TDK dolgozat született.

Az extenzométerre az OTKA-ból csupán mintegy 200 eFt-ot fordítottunk. A fennmaradó több, mint 3500 eFt összeget a Faipari Mérnöki Kar NKFP támogatásból fedezte.